

Liimaristikon valmistaminen ja koestaminen

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Materiaalitekniikka
Puutekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Simo Pasanen
Joni Vierisalo

Lahden ammattikorkeakoulu
Materiaalitekniikan koulutusohjelma

PASANEN, SIMO
VIERISALO, JONI:

Liimaristikon valmistaminen ja
koestaminen

Puutekniikan opinnäytetyö, 52 sivua, 68 liitesivua

Kevät 2017

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa ja koestaa liimaristikko-palkkeja. Työssä valmistettavat ja tutkittavat liimaristikkopalkit on suunnitellut opinnäytetyön toimeksiantaja Tuomo Poutanen. Kokeiden tarkoituksena oli löytää paras mahdollinen liitosmalli, jolla saavutetaan riittävä lujuus koestuksessa. Liitosmallin tulisi olla myös helposti teollisesti valmistettavissa. Tavoitemäärä testattaville palkeille oli 75 - 100 kappaletta.

Työn teoriaosuudessa käsitellään ristikkorakennetta, sen teknisiä ominaisuuksia, nykyisiä sovelluksia ja liimaristikon etuja nykyisiin sovelluksiin verrattuna. Työssä käsitellään myös sormiliitosta ominaisuuksineen ja palkkien valmistukseen käytettyjen liimojen ominaisuuksia.

Käytännön osuudessa selitetään koeristikoiden valmistus, niiden koestusjärjestelyt sekä tulosten analysointi. Oikean mallin löytämiseksi koestettiin 42 erilaista liitosmallia sekä ristikkorakennetta. Lisäksi tässä osuudessa esitellään palkkien valmistuksessa käytettyjen liimojen lujuusominaisuuksia, jotka on selvitetty vaadittavan standardin mukaisesti.

Työn tavoitteet palkkien valmistus- ja koestusmäärällisesti saavutettiin. Lisäksi saatiin kehitettyä riittävät lujuusominaisuudet omaava ristikko- ja liitosmalli. Liitosmallin saaminen teollisesti valmistettavaksi vaatii kuitenkin vielä paljon kehitystyötä.

Asiasanat: liimaristikko, palkki, sormiliitos, liimaliitos

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Material Sciences

PASANEN, SIMO
VIERISALO, JONI:

Manufacturing and testing of
glued timber truss

Bachelor's Thesis in Wood Technology, 52 pages, 68 pages of
appendices

Spring 2017

ABSTRACT

The topic of this Bachelor's thesis is manufacturing and testing glued timber trusses. The trusses that were produced and examined in this work had been designed by Tuomo Poutanen, who commissioned the thesis. The objective of the tests was to find a joint with good enough strength features. The joint should also be easy to produce industrially. The scope was to produce 75 - 100 trusses.

The theory part of this study deals with the truss structure, its technical properties, current applications and how these applications compare to glued timber trusses. The theory part also includes information about finger joints and glues used in this thesis.

The practical part of the study explains manufacturing and testing the trusses, as well as analyses of the test results. In order to find the right type of joint, it was necessary to test many different joint types. A total of 42 different joint and truss types were tested. This part also describes the strength features of the glues that have been used in this study. The strength features have been determined with the standardized test.

The objectives of the study were achieved, by producing the required quantity of trusses and by finding the right type of joint. The industrial manufacturing of this joint still needs development.

Key words: glued timber truss, beam, finger joint, glue joint

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	RISTIKKO	3
2.1	Ominaisuudet	4
2.2	Suunnittelu	5
2.3	Naulalevyristikko	6
2.4	Liimaristikko	8
2.5	Sormiliitoksen edut ristikkorakenteissa	8
3	SORMILIITOS	10
3.1	Sormiliitosmallit	11
3.2	Sormiliitoksen ominaisuudet	12
4	LIIMAT	14
4.1	Liimojen ominaisuuksia	14
4.2	Liimojen luokittelu	15
4.3	Käytetyt liimat	16
4.3.1	Urealiimat (UF)	16
4.3.2	Melamiiniliimat (MF)	17
4.3.3	Fenoliliimat (FF)	17
4.3.4	Resorsinoliliimat (RF)	18
4.3.5	Polyuretaaniliimat (PUR)	18
5	LIIMAKOE	20
5.1	Koekappaleiden valmistus	21
5.2	Muuttujat	22
5.2.1	Kostutus	23
5.2.2	Kiillottuminen	23
5.2.3	Vanhentunut pinta	23
5.2.4	Vaneri toisena pintana	24
5.3	Tulokset	24
5.3.1	Kostutus	27
5.3.2	Kiillotus	28
5.3.3	Vanhentunut pinta	29
5.3.4	Vaneri toisena pintana	30
5.4	Yhteenveto	31

6	LIIMARISTIKOIDEN VALMISTUS	32
6.1	Työstö	32
6.1.1	CNC	34
6.1.2	Alajyrsin	37
6.2	Liimaus	38
6.2.1	Liiman valmistus	38
6.2.2	Valmistelut	39
6.2.3	Liimaus	39
7	KOESTUSMENETELMÄT	41
7.1	Koestuksen valmistelut	41
7.2	Koestus	45
8	TULOKSET	47
8.1	Liitoksen muoto	47
8.2	Tupladiagonaalit	48
8.3	Sormien määrä	48
8.4	Yläpaarteen avonainen ja täytetty tuenta	49
8.5	Kastelu	49
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	50
	LÄHTEET	51

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää riittävät lujuusominaisuudet omaava liimaliitosmenetelmä ristikkopalkille. Palkkien koestuksien tarkoituksena on selvittää ristikkopalkkien murtokuorma sekä taipuma. Työn toimeksiantajana on Tuomo Poutanen, joka on kehittänyt naulalevyjä korvaavaa sormiliitosmallia ristikkorakenteisiin. Ristikkorakenne mahdollistaa kevyen, lujuusominaisuuksiltaan hyvän ja raaka-ainekulutukseltaan edullisen rakenteen. Tässä työssä tutkittavana oleva sormiliitos mahdollistaisi lujuusominaisuuksiltaan paremman sekä ulkonäöltään esteettisemmän liitoksen naulalevyliitokseen verrattuna.

Liimaristikoihin liittyen on aiemmin tehty useita opinnäytetöitä aiheina: sormiliitosten työstöratojen kehittämiseen, liimaristikkopalkin mitoittamiseen sekä liimaristikkopalkin liitoksen kehittämiseen teollista tuotantoa varten. Näistä tutkimuksista olemme saaneet pohjatietoa etenkin sormiliitoksen työstöratojen kehittämisen osalta.

Työn tavoitteena on löytää liitosmalli, jolla on edellytykset liimaristikkopalkin teolliselle tuotannolle. Tätä mallia alettiin selvittää valmistamalla ja koestamalla Poutasen suunnittelemaa liimaristikoita erilaisilla sormiliitosmalleilla, jotta saataisiin selville minkä mallinen liitos takaa riittävän lujuuden valmistettavalle palkille sekä olisi myös teollisesti valmistettavissa. Lopuksi tulokset on analysoitu, jotta saataisiin selville mitkä muuttujat vaikuttavat eniten palkin ja liitosten lujuuteen.

Työssä on erikseen tehty myös standardin SFS-EN 205:2016 mukainen liimakoe, jossa on tutkittu erilaisten liimojen soveltumista liimaristikon sormiliitoksiin. Työn teoriaosuudessa käsitellään erilaisia ristikkorakenteita, sormiliitoksia, työssä käytettävien liimojen ominaisuuksia sekä itse liimaristikkoa.

Työn alussa määritelty valmistettavien palkkien kappalemäärä oli 75 - 100 kappaletta, yhden – viiden kappaleen sarjoissa. Palkit eroavat toisistaan muun muassa liitosmallin ja käytetyn raaka-aineen dimension mukaan. Joitain malleja valmistettiin ja koestettiin kuitenkin enemmän riippuen saaduista tuloksista.

Opinnäytetyössämme oli mukana Lahden ammattikorkeakoulusta puutekniikan insinööriksi muutama vuosi sitten valmistunut Lauri Pulliainen, jonka Tuomo Poutanen oli palkannut tehtävään. Pulliainen oli opiskeluaikanaan tehnyt oman opinnäytetyönsä liimaristikoista, ja hänen tehtävänänsä tässä projektissa oli auttaa komponenttien valmistamisessa ja kokoonpanossa, josta hänellä oli kokemusta oman opinnäytetyönsä johdosta.

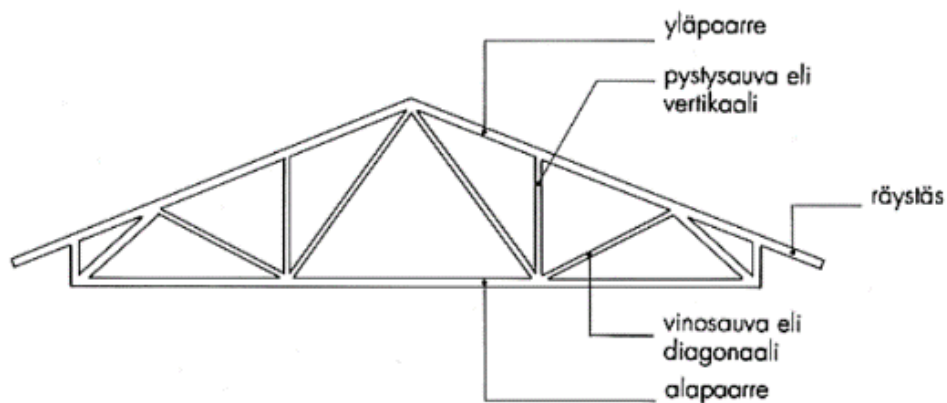
2 RISTIKKO

Ristikkorakennetta käytetään yleisesti ristikkopalkkien ja kattoristikoiden valmistuksessa. Tällä hetkellä yleisin sovellus on naulalevykattoristikko. Ristikkopalkkeja on käytössä lähinnä betonointialustan väliaikaisessa tuennassa ja telinejärjestelmissä kuten esimerkiksi PERI-palkki kuvassa 1.

Tyypillinen kattoristikko rakentuu kuvion 1 mukaisesti paarteista, vertikaaleista sekä diagonaaleista. Paarteet ovat ristikossa sen ala- ja yläpuu ja ne on yleensä valmistettu mitoiltaan suuremmasta puusta, koska niihin kohdistuu taivutusjännitystä. Vertikaalit ovat nimensä mukaisesti kohtisuorassa taivutuskourmaan nähden ja diagonaalit eli vinosauvat puolestaan eivät ole kohtisuorassa taivutuskourmaan nähden.



KUVA 1. PERI-Liimaristikkopalkki (Peri Suomi Ltd Oy 2017)



KUVIO 1. Tyypillinen kattoristikko (RT 85-10495, 1993)

2.1 Ominaisuudet

Rakennetavaran oleelliset ominaisuudet ristikoilla ovat niiden lujuus- ja palotekniset ominaisuudet. Ristikon palotekniset ominaisuudet ovat käytännössä samat kuin siihen käytetyllä rakennesahatavaralla. On kuitenkin huomioitava, että ristikko menettää kantavuutensa sen paloteknisesti heikoimman rakennesahatavaran mukaisesti. Puun syttyminen tapahtuu normaalisti 250 – 300 °C:n lämpötilassa ja puu alkaa hiiltä noin 0,8 mm minuutissa. Massiivisemmalla puutavaralla palaminen on huomattavasti hitaampaa. (Puuinfo 2017.)

Ristikkorakenteiden käytön tarkoituksena on hyödyntää puun hyvät puristus- ja vetolujuusominaisuudet sen syysuunnassa diagonaalien ja vertikaalien avulla. Ristikkorakenteessa paarteisiin kohdistuva taivutusvoima johdetaan vertikaaleille ja diagonaalille veto- ja puristusvoimiksi. Puun syysuuntainen puristuslujuus on yleensä 5 - 10 kertaa suurempi verrattuna puristuslujuuteen poikkisyyhyyn. Vetolujuus syysuunnassa on noin 2 - 3 kertaa suurempi kuin puristuslujuus ja 10 - 20 kertainen verrattuna kohtisuoraan lujuuteen. (Forsström 1995, 31 - 32.)

Ristikkorakenne mahdollistaa monimuotoisempien rakenteiden toteuttamisen. Samalla minimoidaan raaka-ainemenekkiä, mahdollistetaan läpivientejä esimerkiksi putkille vaikuttamatta kantavuuteen ja kevennetään rakenteen massaa. Kevyempi rakenne helpottaa ristikoiden käsittelyä ja kuljetusta, mikä alentaa myös logistiikan ja asennuksen kustannuksia. Suurempia rakenteita valmistettaessa voidaan ristikko jakaa osiin, mikä myös helpottaa rakenteen kuljettamista.

2.2 Suunnittelu

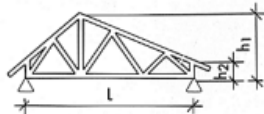
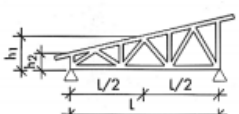


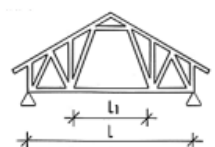
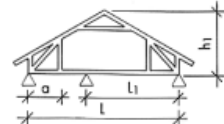
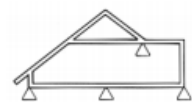
Ristikön muodot määräytyvät tyypillisesti arkkitehtonisen muotoilun määrittäminä. Kattoristikkoteollisuudessa ristikön valmistukseen vaadittavat suunnitelmat tulisi saada valmiiksi noin puolessa tunnissa. Tämä asettaa korkeita vaatimuksia suunnittelussa käytetyille tietokonejärjestelmille. (Havonen 1995, 151.)

Valmistuksen vaatimusten ja haastavan statiikan vuoksi ristikkorakenteet suunnitellaan kaksikulotteisiksi pystyristikoiksi, jotka asetetaan rinnakkain ja kiinnitetään toisiinsa niiden väliin sijoitetuilla tasoristikoilla. Ristikot suunnitellaan vain niiden tasossa vaikuttaville voimille ja siten syntyy staattisesti puhdas tasorakenne. Tasorakenteen suunnittelussa tulee kuitenkin ottaa huomioon puristusjännitys, josta saattaa seurata diagonaalien nurjahtaminen. Diagonaalit on siis tarvittaessa tuettava. Ristikkoa suunniteltaessa pyritään, mahdollisuuksien mukaan, puristusvoimat sijoittamaan lyhyille ja vetovoimat pitkille diagonaaleille, näin minimoidaan puristusdiagonaalin nurjahtamisen riski. Ristikoiden suunnittelussa tulee määrittää rakenteen kuormitus ja näin voidaan määrittää sauvavoimat joko analyyttisesti tai geometrisesti. (Kevarinmäki 1966, 1 – 5.)

2.3 Naulalevyristikko

Tällä hetkellä yleisin ristikkosovellus on naulalevykattoristikko. Kattoristikon valmistus tapahtuu rakennussuunnittelun tekemien piirustuksien pohjalta kattoristikkotehtaassa. Kuviossa 2 on tyypillisiä kattoristikoita. Ristikot rakennetaan mitallistetuista ja lujuuslajitellusta rakennesahatavarasta. Liitoksissa käytetään naulalevyjä, joilla tulee olla hyväksytyn koestuslaitoksen lausunto. Rakennesahatavara katkotaan piirustusten mukaan vaadittaviin pituuksiin. Komponentit kootaan kasauspöydällä ristikoksi ja naulalevyt puristetaan koneellisesti paikoilleen. Naulalevyt puristetaan ristikon molemmille puolille. Naulalevyteknologialla valmistetut ristikot vaativat suhteellisen alhaista investointitasoa valmistajalta. Yksinkertaisuudessaan tehdas tarvitsee katkaisusahan, kokoamispöydän ja koneellisen puristimen naulalevyjä varten. (RT 85-10495, 1993.)

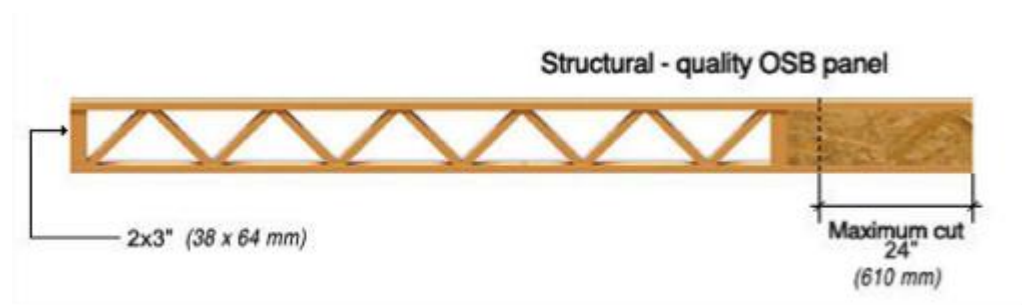
Naulalevyristikon edut työmaalla valmistettuun naulattuun ristikkoon nähden ovat muun muassa mittatarkkuus, nalulaliitosta jäykempi liitos, mahdollisuus pidempiin jänneväleihin sekä laatumerkintä (Leivo 1986, 14). Naulalevyliitoksen käyttö asettaa rajoituksia ristikoiden rakenteille. Ristikoiden diagonaaleissa ja paarteissa käytetyn sahatavaran tulee olla saman paksuista. Lisäksi suojaamaton naulalevyliitos ei ole paloluokiteltu rakenne, joten sitä ei voida käyttää palonkestävissä rakennuksissa kantavana rakenteena. Suojaamattoman naulalevyliitoksen palonkesto aika on alle 10 minuuttia. Naulalevy mekaanisena liitoksena ei myöskään ole niin jäykkä kuin liimattu liitos. Tämä tulee huomioida mahdollisten siirtymien osalta jo suunnitteluvaiheessa ja ristikoita saatetaan joutua esikorottamaan. (RT 85-10495, 1993.)

<h3>HARJARISTIKOT</h3>  <ul style="list-style-type: none">- jänneväli L enintään 20...28 m- harjakorkeus $h_1 \geq \frac{1}{8} \times \text{kannatinjako}$- tukikorkeus $h_2 \geq \frac{1}{30} \times \text{kannatinjako}$, lämpimissä tiloissa $h_2 \geq 400 \text{ mm}$	<h3>PULPETTIRISTIKOT</h3>  <ul style="list-style-type: none">- jänneväli L enintään 15...20 m- korkeus ristikon keskellä $h_1 \geq \frac{1}{9} \times \text{kannatinjako}$- tukikorkeus $h_2 \geq \frac{1}{30} \times \text{kannatinjako}$, lämpimissä tiloissa $h_2 \geq 400 \text{ mm}$																		
<h3>SAKSIRISTIKOT</h3>  <ul style="list-style-type: none">- jänneväli L enintään 12...20 m- tukikorkeus $h_2 \geq \frac{1}{25} \times \text{kannatinjako}$, lämpimissä tiloissa $h_2 \geq 400 \text{ mm}$- suositeltavat paarteiden kaltevuudet: <table><tr><th>yläpaarre</th><th>alapaarre</th><th>kannatinjako</th></tr><tr><td></td><td></td><td>900 mm 1200 mm</td></tr><tr><td>1:4</td><td>1:7</td><td>1:9</td></tr><tr><td>1:3</td><td>1:6</td><td>1:8</td></tr><tr><td>1:2,5</td><td>1:5</td><td>1:7</td></tr><tr><td>1:2</td><td>1:4</td><td>1:6</td></tr></table>	yläpaarre	alapaarre	kannatinjako			900 mm 1200 mm	1:4	1:7	1:9	1:3	1:6	1:8	1:2,5	1:5	1:7	1:2	1:4	1:6	<h3>RISTIKKOPALKIT</h3>  <ul style="list-style-type: none">- jänneväli L enintään 7...10 m- ristikon korkeus $h_1 \geq \frac{1}{11} \times \text{kannatinjako}$ <h3>KÄYTTÖULLAKKOKANNATIN</h3>  <ul style="list-style-type: none">- jänneväli L enintään 12...16 m- ullakkotilan leveys $L_1 \leq \frac{1}{3}$- suositeltava kannatinjako 900 mm
yläpaarre	alapaarre	kannatinjako																	
		900 mm 1200 mm																	
1:4	1:7	1:9																	
1:3	1:6	1:8																	
1:2,5	1:5	1:7																	
1:2	1:4	1:6																	
<h3>KATTOVÄLIPOHJAKANNATIN</h3>  <ul style="list-style-type: none">- alapaarre mitoitetaan luonnossuunnitteluvaiheessa tavallisena palkkina- alapaarre tarvitsee yleensä välitiuen, $L_1 \leq 5,0 \text{ m}$- kehien väliin tarvitaan yleensä välipalkit- ulokkeet eivät ole mahdollisia- korkeissa kehissä ($h_1 > 3200...3500 \text{ mm}$) harjaosa tehdään erillisenä- suositeltava kannatinjako $\leq 1200 \text{ mm}$- $a > \frac{\text{jänneväli } L}{10}$	<h3>ERIKOISKEHÄT</h3>  <ul style="list-style-type: none">- erikoiskehiä suunniteltaessa tarvittavat tuennat yms. tulee selvittää jo luonnossuunnitteluvaiheessa naulalevyrakenteiden rakennesuunnittelijan kanssa- yläosaan tarvitaan aina välituki joko harjan tai orren alle																		

KUVIO 2. Kattoristikotyyppejä (RT 85-10495, 1993)

2.4 Liimaristikko

Liimaristikko on tyypillisesti sormiliitosta hyödyntävä liimattu ristikkorakenne. Tätä ristikkotyyppiä ei tällä hetkellä juurikaan käytetä Euroopassa, ainoastaan PERI:n valmistamat ristikkopalkit väliaikaisiin tuentoihin ja telinejärjestelmiin. Tämä johtuu pitkälti haastavasta liitoksen valmistuksesta ja tarjolla olevista kilpailevista liitostyypeistä kuten naulalevy. Rakennetavarana liimaristikkopalkki on tällä hetkellä käytössä lähinnä Pohjois-Amerikan mantereella. Kanadassa on ristikoita valmistava sahayritys nimeltään Triforce, joka valmistaa kuvion 3 mukaisia palkkeja.



KUVIO 3. Open Joist TRIFORCE palkki (Open Joist TRIFORCE 2017)

Liimaristikoita valmistava tehdas tarvitsee kalliiden investointikustannuksien vuoksi suuremman toiminta-alueen kuin Suomen tyypillisillä ristikkotehtailla.

2.5 Sormiliitoksen edut ristikkorakenteissa

Liimaristikoon on kehitetty yleispätevä sormiliitos, jossa ei ole näkyviä sormia liitoksen ulkopuolella. Tällä sormiliitosmallilla voidaan valmistaa kaikkien naulalevyliitosristikkomallien lisäksi myös sellaisia rakenteita, joihin ei naulalevyliitos sovellu. Visuaalisen näyttävyyden lisäksi liitosmalli kestää myös normaali-, leikkaus- ja momenttikuormia. Sormiliitos myös mahdollistaa eri paksuisten puukappaleiden liittämisen toisiinsa, mikä ei naulalevyliitoksella ole mahdollista. Sormiliitoksen etuja kattoristikkorakenteissa ovat edullisuus, palotekniset ominaisuudet,

lujuusominaisuudet, visuaalisuus sekä uusien ristikkomallien mahdollistaminen. (Poutanen 2017.)

Liimaristikon edullisuuteen vaikuttaa monta tekijää. Ensinnäkin liimaristikon valmistamiseen tarvittava liima on edullisempaa, kuin naulalevyristikon valmistamiseen käytettävät naulalevyt. Liimatuissa ristikoissa voidaan, sekä diagonaaleissa että paarteissa, käyttää pienempi dimensioista puutavaraa, sillä ristikkoon aiheutuvat rasitukset jakautuvat tasaisemmin kuin naulalevyristikoissa. Liimaristikossa myös käsiteltäviä osia tarvitaan vähemmän, mikä pienentää valmistuskustannuksia. (Poutanen 2017.)

Lujuusominaisuuksiltaan liimattu ristikko on parempi ja ristikosta saadaan riittävän luja, vaikka vetosauvoina käytettäisiin pienempi dimensioisia puukappaleita. Jäykän liitoksen ansiosta liimaristikon taipuma on noin 20% naulalevyristikkoa pienempi. Palonkesto-ominaisuudetkin ovat paremmat, sillä liitokset hiiltyvät palossa puun lailla ja kestävät paloa pidempään kuin kuumuudessa lujuutensa menettävät naulalevyt. Liimaristikoita voidaan myös käyttää kosteissa olosuhteissa, toisin kuin naulalevyristikkoa. (Poutanen 2017.)

Liimaristikon etuja naulalevyristikkoon verrattuna ovat kuitenkin mahdollinen kauniimpi ulkonäkö, paremmat palotekniset ominaisuudet, parempi puun lujuusominaisuuksien hyödyntäminen, mahdollisesti parempi liitoksen lujuus ja monipuolisempi eri sovelluksien käyttö. Nämä mahdollistaisivat esimerkiksi näkyviin jäävien rakenteiden tekemisen. (Poutanen 2017.)

Lisäksi liimaristikko on ekologisempi vaihtoehto naulalevyristikolle, sillä se kuluttaa vähemmän luonnonvaroja eikä siinä käytetä ollenkaan metallia. Valmiissa ristikossa on vähemmän puuta, ja valmistuksessa syntyy pienempi materiaalihukka, sillä valmistuksessa syntyvät lyhyet kappaleet voidaan jatkaa ja näin ollen käyttää hyödyksi. (Poutanen 2017.)

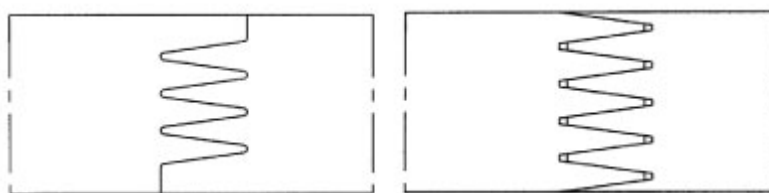
3 SORMILIITOS

Puuliitokset voidaan jaotella fysikaalisilta ominaisuuksiltaan mekaanisiin ja liimaliitoksiin. Liimaliitos on näistä jäykin. Mekaanisissa liitoksissa voimat siirtyvät liitettyjen kappaleiden ja liittimien välisen kosketuspintojen kautta. Nämä liitokset ovat harvemmin kovin jäykkiä ja voimat keskittyvät pienehkölle alalle liitetyissä kappaleissa, mikä aiheuttaa puussa helposti liitoksen löystymistä puuaineksen puristuessa kasaan. Mekaanisissa liitoksissa yleensä käytetään liittimenä metallia, kuten nauvoja tai ruuveja. Tällöin liitokset voivat olla myös alttiita puun kosteuselämisestä johtuvalle väsymiselle. Metallin käyttö liitoksissa tyypillisesti heikentää myös rakenteen paloteknisiä ominaisuuksia, ellei metallisia liittimiä saada asennettua puurakenteen sisälle.

Liitokset voidaan myös jakaa geometriselta muodoltaan pusku- ja lapaliitoksiin. Puskuliitokset ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan hyviä, ja niiden ominaisuudet ovat usein yhtä hyvät kuin puulla. Lapaliitokset ovat puolestaan helppoja ja nopeita tehdä esimerkiksi naulaamalla, mutta näillä liitoksilla on usein heikko lujuus ja huono puun lujuusominaisuuksien hyödyntäminen. Sormiliitos on liimaliitos ja siten jäykkä liitos. Puskuliitoksena sormiliitos hyödyntää puun lujuusominaisuudet hyvin ja metallittomana liitoksena sillä saadaan hyvät palotekniset ominaisuudet. (Siikanen 2008, 63.)

3.1 Sormiliitosmallit

Sormiliitokset voidaan jakaa puusepäneliitoksiin ja rakennetavaran liitoksiin. Puusepäneliitoksessa on tyypillistä näkymättömyys ja hyvä liitoksen istuvuus. Rakennetavarassa on tärkeämpää liitoksen hyvä kiilautuvuus, millä varmistetaan hyvä puristus liitoksessa. Rakennetavaran liitoksessa sormet eivät ulotu liitoksen pohjaan asti. Tämä aiheuttaa näkyvämmän liitoksen, mutta varmistaa riittävän kiilautumisen puristettaessa. Kuviossa 4 tyypilliset puusepän ja rakennetavaran sormiliitokset. (Puuproffa 2017.)

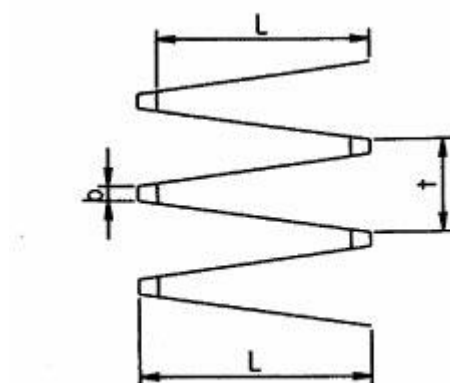


KUVIO 4. Puusepän ja rakennetavaran sormiliitos (Puuproffa 2017)

Rakennetavaran sormiliitoksen tyypillisimpiä käyttökohteita ovat puutavaran pituussuuntainen jatkaminen. Tätä hyödynnetään paljon, jos on tarve saada puuainesta heikentäviä puun vikoja pois rakennesahatavarasta. Esimerkiksi liimapuuteollisuudessa tätä hyödynnetään vikojen poistamiseksi ja tarvittavan pituisen lamelliaihion saamiseksi.

3.2 Sormiliitoksen ominaisuudet

Rakennetavaran sormiliitoksella on tarkoitus luoda mahdollisimman suuri liimapinta-ala liitokselle. Näin liitokseen vaikuttavat voimat jakautuvat suuremmalle alalle tehden liitoksesta lujemman. Liitoksen riittävän kiillautumisen varmistamisen johdosta on jätettävä jonkin verran katkaisupintaa sormen kärkeen, minkä takia liitoksessa on aina jonkin verran katkaisupintaa, mikä ei siirrä kuormittavia voimia. Näin saadaan varmistettua liitoksen liimapintojen istuvuus toisiinsa nähden. Sormien kärkiä ei voida myöskään työstää täysin teräviksi, koska ne eivät kestäisi työstöä. Liitoksen mitoitusparametrit ovat kuviossa 5. (Puuproffa 2017.)



KUVIO 5. Liitoksen mitoitusparametrit (Puuproffa 2017)

Liitoksen lujuuteen vaikuttavat kiilakulma, heikennysaste, sormenpäiden leveys, puristusaine, liiman levitys ja sormijatkoksen perusmuoto. Kiilakulman kannalta on tärkeää suunnitella sormet niin, että sormien kylkien kestävä leikkausvoima olisi yhtä suuri kuin vetokuorma sormen pohjassa. Näin pystytään hyödyntämään puun lujuutta liitoksessa hyvin. Heikennysaste saadaan määritettyä sormenpään leveyden (kuvio 5, b) suhteesta sormijatkoon (kuvio 5, t). Heikennysastetta saadaan pienennettyä mitä terävämpi sormenpää pystytään valmistamaan. Liitoksen lujuuteen vaikuttaa voimakkaasti se, kuinka suurta päittäispuristuspainetta liitos kestää. Puristuksen lujuus on sormenpituuden funktio. Mitä lyhyempi sormi on, sitä pienemmän

rasituksen se aiheuttaa sormiloveen. Pitkät sormet aiheuttavat suuremman kiilautumisvoiman sormiloveen, mistä seuraa helposti halkeilua puuaineksessa. Puristusaine on myös heikoimmillaan uloimmissa sormissa, koska uloin sormi pääsee taipumaan vapaasti kiilautumisen johdosta. Sormia ei kuitenkaan voida lyhentää loputtomiin, koska siitä seuraa huomattava liimapinnan pieneneminen. (Puuproffa 2017.)

Liiman levityksellä liitokselle on suuri lujuuteen vaikuttava merkitys. Liima tulisi saada levitettyä tasaisesti koko liitoksen alalle. Liimautumattomat kohdat heikentävät oleellisesti liitoksen lujuutta. Levityksen kannalta terävät sormenpäät, pitkät ja kapeat sormet ovat hankalia. (Puuproffa 2017.)

4 LIIMAT

Teollisessa rakentamisessa puusta valmistettavien palkkien lujuus on painoyksikköä kohden suurempi, kuin vastaaviin tarkoituksiin käytetyillä muilla rakennusmateriaaleilla. Puun käyttämistä palkkien rakennusmateriaalina on rajoittanut kuitenkin luonnosta saatavan sahatavaran pienet dimensiot ja liian suurilla dimensioilla olevan puun halkeilu ja eläminen kosteusmuutosten vaikutuksista. (Sorsa 1966, 1.)

Edellä mainitut rajoitteet saadaan kuitenkin korjattua liimaamalla puuta oikeantyyppisellä liimalla. Liimaamalla puumateriaalista saadaan valmistettua oikeankokoisia liimapalkkeja ja niiden halkeilua sekä kosteuselämistä pystytään vähentämään, kun liimapalkki liimataan oikeanlaisella liimalla ja palkki valmistetaan lamelleista. (Sorsa 1966, 1.)

4.1 Liimojen ominaisuuksia

Puuta liimattaessa käytetään monenlaisia liimatyppejä, jotka soveltuvat ominaisuuksiensa ansiosta varsin erilaisiin käyttökohteisiin. Kantavien rakenteiden liimaamisessa onkin otettava huomioon liiman pitkäaikainen rasituksen kestävyys. On erittäin tärkeää, että liimasauman tulee olla vähintäänkin yhtä kestävä, kuin liimattavan puun. Lisäksi liiman on kantavissa rakenteissa pystyttävä välittämään vaikuttavat voimat murtumatta. Esimerkiksi puusepänteollisuudessa paljon käytetyt polyvinyyliasetaattiliimat (PVAc) ovat ominaisuuksiltaan elastisia, joten ne sopivat tämän vuoksi hyvin liimattaessa komponentteja, jotka eivät altistu jatkuvalle rasitukselle. Elastisuuden ansiosta liimasauma ei murru lyhyessä rasituksessa. Pidempiaikaisessa rasituksessa nämä liimat alkavat kuitenkin virumaan, jolloin liimasauma saattaa murtua. (Sorsa 1966, 1 – 2.)

Liiman lujuusominaisuudet määräytyvät yleisesti niiden molekyyliarakenteesta. PVAc-liimojen molekyyli rakenne on 2-ulotteinen, mistä johtuen ne ovat elastisia. Kantavissa rakenteissa käytettyjen liimojen molekyyli rakenne sen sijaan on 3-ulotteinen, minkä takia ne ovat jäykkiä, eivätkä ne ala virua. (Sorsa 1966, 2.)

4.2 Liimojen luokittelu

Liimat voidaan luokitella niiden alkuperän mukaan proteiiniliimoihin ja muoviliimoihin. Näistä liimoista käytetään teollisuudessa yleisesti muoviliimoja, jotka voidaan edelleen jakaa käytetyn muovityypin mukaisesti kertamuoveihin, kestopuoveihin sekä elastomeereihin. (Sorsa 1966, 3.)

Kertamuoviliimat eivät kovettumisreaktion jälkeen liukene mihinkään, eivätkä ne pehmene lämmönvaikutuksesta. Kestomuovi- ja elastomeeriliimat ovat ominaisuuksiltaan samanlaisia. Nämä liimat puolestaan pehmenevät lämmön vaikutuksesta ja ne liukenevat niille soveltuvaan liuottimeen. (Sorsa 1966, 3.)

Kertamuoviliimat voidaan jakaa kahteen ryhmään; amino- ja fenolimuoveihin. Urea- ja melamiiniliimat kuuluvat aminomuoveihin ja fenolimuoveihin luokitellaan fenolista ja sen homologeista valmistetut muoviaineet. Puukannatteiden valmistuksessa yleisesti käytetyt resorsiiniliimat kuuluvat myös fenolimuoveihin. (Sorsa 1966, 3.)

Käyttökohteen mukaisesti liimat jaetaan sisäkäyttöön soveltuviin liimoihin sekä säänkestäviin liimoihin. Sisäkäyttö määritellään siten, että kappaleet ovat käyttökohteessa vähintäänkin suojattuna sateelta ja suoralta auringonpaisteelta. Suurin olosuhdeongelma liimalle ei niinkään ole lämpötilojen, vaan kosteuden vaihtelut, sillä kosteissa olosuhteissa alkavat mikro-organismit toimia (Sorsa 1966, 3 – 4.) Sisäkäyttöön soveltuvia liimoja ovat PVAc- ja urealiimat (Koponen 1990, 76).

Kosteuden kestävät liimat sen sijaan soveltuvat käytettäväksi tiloissa, joissa ilman kosteus on korkea, mutta muuten liimasaumaan ei kohdistu sään aiheuttamia rasituksia. Kosteudenkestäviä liimoja ovat melamiinia sisältävät urealiimat (MUF) sekä kovetettu PVAc-liima. (Koponen 1990, 76.)

Säänkestäväksi määritellyn liiman on kestävä kaikissa olosuhteissa puuta paremmin. Sen on sääolosuhteissa kestävä keittämistä, vesiliuotusta sekä mikro-organismeja. Täysin säänkestäviä liimoja ovat fenoli-, resorsinoli- sekä resorsinolifenoliliimat. (Koponen 1990, 76.)

Suomessa käytetään kantavien rakenteiden liimauksessa aina säänkestäviä liimoja, jotka kestävät ulkoilmassa suojaamattominakin. Täysin säänkestäviä liimoja ovat muun muassa fenoli- ja resorsinoliliimat. Rakenteessa on kuitenkin huomioitava, että vaikka käytettävä liima kestäisikin huonoja olosuhteita, ei se suojaakaan itse puuta säältä. Tämä tulee ottaa huomioon rakenteita suunniteltaessa. (Sorsa 1966, 4.)

4.3 Käytetyt liimat

Seuraavassa osuudessa käsitellään erilaisten liimojen ominaisuuksia ja käyttökohteita. Ominaisuuksia on kerätty niiden liimojen osalta, joita tämän opinnäytetyön käytännön työssä on käytetty.

Opinnäytetyön toimeksiantaja valitsi työssä käytettävät liimat, joita oli sekä yksi-, että kaksikomponenttisiä. Liimat ovat ominaisuuksiensa ansiosta erilaisiin käyttökohteisiin soveltuvia.

4.3.1 Urealiimat (UF)

Urealiimat ovat kaksikomponenttisiä kertamuoviliimoja, joita käytetään pääasiallisesti lastulevyn liimauksessa. Liima on edullista, ja se soveltuu hyvin nopeisiin liimausprosesseihin. Urealiimojen liimasauma on väritön ja luja, mutta se ei kuitenkaan kestä kosteutta ilman liimaan lisättäviä lisäaineita. (Koponen 1990, 52.)

Kosteuden kestoja urealiimaan saadaan lisäämällä siihen melamiinia tai resorsinolia. Paksumia liimasaumoja liimattaessa liima-aineen on oltava täyttävää. Urealiimasta saadaan täyttävää, kun siihen lisätään valmistuksessa furfuryyli- tai polyvinyylialkoholia. Tällaisella liimalla voi liimata jopa 1 mm:n paksuisia saumoja. (Koponen 1990, 59.)

4.3.2 Melamiiniliimat (MF)

Melamiiniliimat ovat urealiimojen kanssa samantapaisia. Suurimpana erona niillä on melamiiniliiman huomattavasti parempi vedenkestävyys. Hinnaltaan melamiiniliima on kuitenkin kalliimpaa, joten taloudellisista syistä siihen lisätään usein resorsinolia tai UF-hartsia. Puun ja metallin yhteen liimaamiseen soveltuu hyvin resorsinolia sisältävä melamiiniliima, tämä myös parantaa liiman säänkestävyyttä. Puun liimaukseen sopivaa liimaa saadaan sekoittamalla melamiinihartsia tai melamiinia urealiimaan (MUF). Mitä enemmän MUF-liimassa on melamiinia, sitä parempi on sen kosteudenkesto, mutta se on myös kalliimpaa. (Koponen 1990, 60-61.)

Melamiiniliiman liimasauma on väritön, ja sille on ominaista, että se kovettuu yli 130°C:n lämpötilassa ilman kovetetta. Melamiinihartsia käytetään paljon levyteollisuuden paperipohjaisten pinnoitekalvojen kyllästämisessä. (Koponen 1990, 60-61.)

4.3.3 Fenoliliimat (FF)

Punaruskeaa fenolihartsiliimaa käytetään yleisesti vanerin valmistuksessa, paperisten pinnoitekalvojen kyllästyksessä sekä osittain myös kokoonpanoliimauksissa. Liimasauma on monella tapaa kestävä, sillä se on fyysisiltä ominaisuuksiltaan luja sekä säänkestävä. Myöskään mikro-organismit, kemikaalit, öljyt eivätkä liuotteet juurikaan heikennä saumaa. Hinnaltaan fenoliliimat ovat kalliimpia, verrattuna ureahartsiliimoihin. (Koponen 1990, 62.)

Fenoliliimoja on sekä kylmä- että kuumakovettuvia. Yleisempiä näistä ovat kuumakovettuvat FF-liimat, jotka kovettuvat 125-150°C:n lämpötilassa. Fenoliliiman kovettumislämpötilaa voidaan alentaa lisäämällä liima-aineeseen m-fenolia, resorsinolia tai amideja. Kylmäkovettuvat liimat sopivat liimauksiin, joissa liian suuri lämpötila vaikeuttaa liimauksen onnistumista. Liian suuren puristuslämpötilan vaikutuksesta saattaa liimasauman keskiosiin muodostua liimasaumaa heikentäviä höyrykuplia. (Koponen 1990, 64-65.)

4.3.4 Resorsinoliliimat (RF)

Resorsinoliliimoissa käytetään sidosaineena yleisesti resorsinolifenolihartseja (PRF). Liimasauma on erittäin luja ja täysin säänkestävä. Liiman käyttö on helppoa, sillä se ei kovettuakseen tarvitse suurta lämpötilaa, vaan se kovettuu jo 18 °C:n lämpötilassa. Resorsinoliliimaa käytetään paljon liimapuupalkkien ja muiden kantavien puurakenteiden liimaamisessa. (Koponen 1990, 67.)

RF-liimat ovat kaksikomponenttisia. Liima kovetetaan lisäämällä liima-aineeseen tarvittava määrä formaldehydiä, jotta liima verkkoontuu. Yleisimmin käytetty formaldehydi on paraformaldehydin muodossa. Resorsinoliliimaan ei yleensä tarvita täyteaineita, sillä liimasauma on luja melkoisen paksuinakin saumoina. (Koponen 1990, 67.)

4.3.5 Polyuretaaniliimat (PUR)

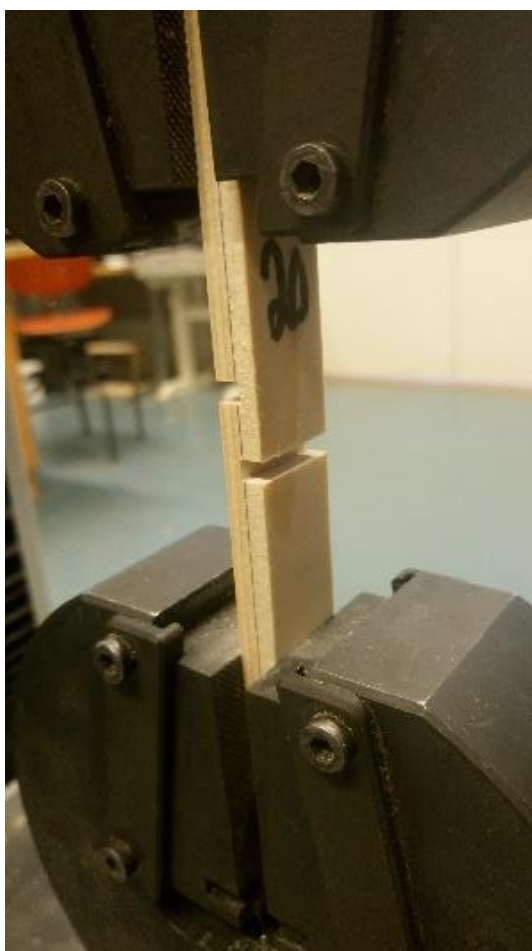
Polyuretaaniliimoja on sekä yksikomponenttisia että kaksikomponenttisia. PUR-liimoja löytyy liuotinpohjaisina ja vesiohenteisina. Liimat ovat yleensä kosteudenkestäviä ja niitä voidaankin käyttää liimauksessa, jossa puu saattaa elää kosteuden vaikutuksesta. PUR-liimat ovat myös yleisiä liimoja rakenneliimauksessa.

Kaksikomponenttiset polyuretaaniliimat koostuvat pääosin isosyanaateista ja polyoleista. Isosyanaateista liiman kannalta tärkeimpiä ovat tolueeni-di-isosyanaatti (TDI) sekä difenyylimetaani-di-isosyanaatti (MDI). Polyoleina käytetään polyesteriä tai polyeetteriä. Liiman ominaisuuksia voidaan muuttaa komponenttien erilaisella annostuksella. Kovemmat liimat sopivat paremmin puun ja metallin liimaukseen, kun taas pehmeät liimaseokset sopivat hyvin kumin ja tekstiilien liimaukseen. Mitä enemmän seokseen lisää polyolia, sitä joustavampaa siitä tulee. (Koponen 1990, 70.)

5 LIIMAKOE

Opinnäytetyöhön liittyen teimme erillisen liimakokeen, jonka tarkoituksena oli selvittää yksinkertaisella vetokokeella, onko liimaristikoissa käytettävien liimojen leikkauslujuudet riittäviä liimaristikon valmistuksessa ja millä tekijöillä on merkitystä liiman valinnassa. Kuvassa 2 näkyy, miten koekappale on kiinnitetty koestuskoneeseen.

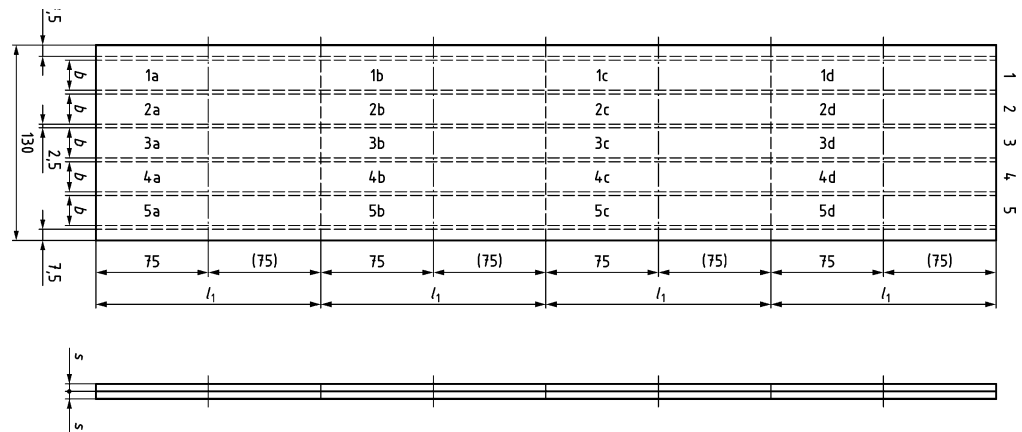
Koe tehtiin kuudelle eri liimalle, joista 1-3 olivat eri valmistajien polyuretaaniliimoja (PUR), liima 4 oli melamiiniureaformaldehydi-liima (MUF), liima 5 oli fenoliresorsinoliformaldehydi-liima (PRF) ja liima 6 oli emulsiopolymeeri-isosyanaatti liima (EPI). Liimoille suoritettiin SFS-EN 205:2016 standardin mukainen vetokoe, josta selvisi eri liimojen liimasaumojen lujuudet (N/mm²). Koestuksessa ei suoritettu liimasauman säänkesto-osuutta.



KUVA 2. Liimakokeen vetokoekappale

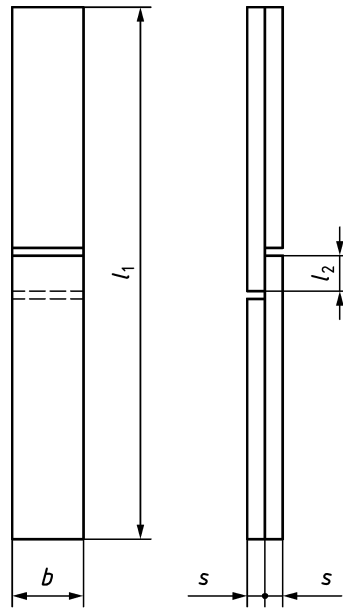
5.1 Koekappaleiden valmistus

Jokaiselle liimalle tehtiin 20 kappaleen koekappale-erä. Eriä varten valmistettiin kuudesta kaksi 730x150x5 mm kappaletta, jotka liimattiin kyseisen erän liimalla toisiaan vasten. Joitain koekappaleaihioita jouduttiin säilyttämään kylmässä varastossa valmistuksen ja liimauksen välissä. Varastossa puun kosteus asettui noin 10 – 15 %:iin.



KUVIO 6. Koekappaleiden sahauskaavio (SFS-EN 205:2016)

Koekappaleet sahattiin kuvion 6 mukaisesti liimatuista kappaleista. Koestusta varten kappaleisiin tuli jyrsiä molemmiin puolin ura kuvion 7 mukaisesti. Uran tuli olla jyrstetty liimasaumaan asti. Kuvassa $l_1 = 150 \text{ mm}$, $l_2 = 10 \text{ mm}$, $b = 20 \text{ mm}$ ja $s = 5 \text{ mm}$.



KUVIO 7. Koekappaleiden jysintä (SFS-EN 205:2016)

5.2 Muuttujat

Jokaisella liimalla liimattiin yksi kuiva koe-erä ilman mitään muuttujia. Tämä koe-erä toimi vertailukohteena muille liimauserille. Kiireellisen aikataulun takia liimoille 4 – 6 ei ehditty suorittaa liimakokeita eri muuttujilla, joten niille tehtiin pelkästään ensimmäinen koe ilman mitään muuttujia.

Vertailukappaleita ei varastoitu kappaleiden työstön ja liimauksen välissä, joten ne olivat liimattaessa siinä kosteudessa kuin ne ovat koulun puuntyöstösalissa. Tämä kosteus oli mitattuna noin 8%.

5.2.1 Kostutus

Polyuretaaniliimojen kovettumisreaktio tarvitsee kosteutta. Kostutuksen tarkoituksena oli tutkia, miten puun kosteus vaikuttaa eri valmistajien liimojen tarttuvuuteen ja kuinka suuri vaikutus on.

Ensimmäisessä koe-erässä liimattiin liimoilla 1, 2 ja 3 kostuttaen toinen liimattavista pinnoista juuri ennen liimausta. Koekappaleet liimattiin samana päivänä, kun ne oli valmistettu. Kappaleet olivat puristuksissa neljä tuntia, jonka jälkeen niitä säilytettiin painon alla ulko-varastossa käyristymisen ehkäisemiseksi. Koestus suoritettiin 17 vuorokauden jälkeen liimauksesta.

5.2.2 Kiillottuminen

Liimaristikoita valmistettaessa huomattiin joidenkin terätyöstöjen kiillottaneen puun pintaa, joten kokeessa yritettiin kokeellisesti selvittää, onko sillä suurta vaikutusta liiman tarttuvuuteen.

Koekappaleiden liimattavat pinnat kiillotettiin ennen liimausta hankaamalla puun pintaa kovemmalla puukappaleella syysuuntaan riittävän kauan. Valoa vasten tarkastelemalla liimattavista pinnoista oli havaittavissa selkeää kiillottuneisuutta.

5.2.3 Vanhentunut pinta

Toimeksiantaja halusi selvittää tuotannon kannalta, onko työstön jälkeisellä varastoinnilla vaikutusta liiman tarttuvuuteen. Pinnan vanhentumisella testattiin, onko vaikutus tarttuvuutta parantava vai heikentävä.

Pintojen vanhentuminen tapahtui yksinkertaisesti siten, että koekappale aihoiden työstöjen jälkeen ne siirrettiin varastoon odottamaan kolmeksi viikoksi. Kappaleet olivat pimeässä varastossa painojen alla, jolloin ne eivät altistuneet valolle ja pysyivät suorina.

5.2.4 Vaneri toisena pintana

Joissain liimaristikkomalleissa osa diagonaaleista on valmistettu kertopuusta (LVL), joten liimakokeessa pyrittiin selvittämään liiman tarttuvuutta vastaavanlaiseen vaneripintaan.

Liiman tarttuvuutta vaneriin testattiin kahdessa eri koe-erässä. Toisessa erässä toinen liimattavista pinnoista oli vaneria, jossa syysuunta oli poikittain massiivipuukappaleen syihin nähden ja toisessa vaneri oli sahattu 45° kulmassa. Molemmissa koe-erissä käytettävä vaneri oli 4mm paksua koivuvaneria.

5.3 Tulokset

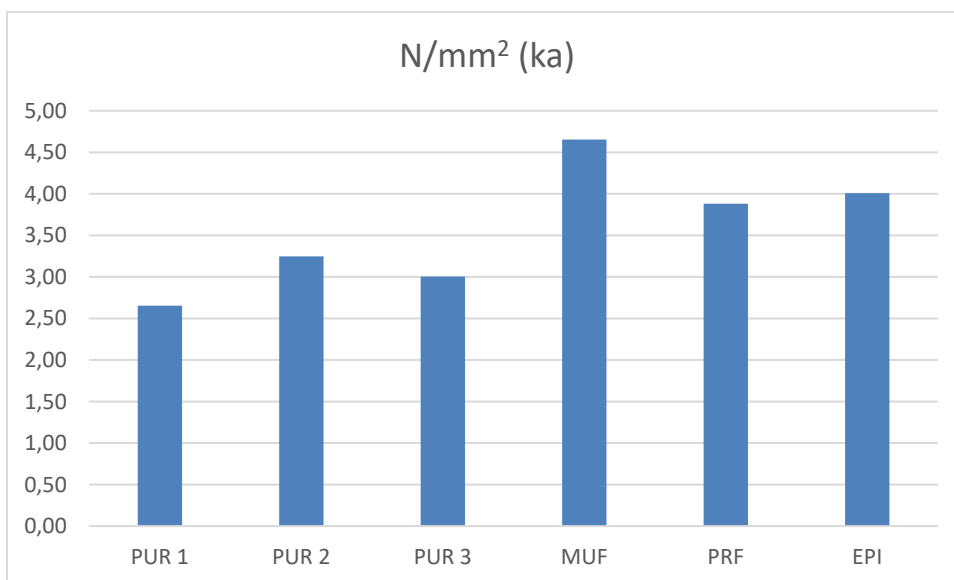
Tuloksiin laskettiin kustakin koekappaleesta puusta murtuman osuus 10 %:n tarkkuudella sekä murtovoiman liimattuun pinta-alaan nähden (N/mm^2). Osa kappaleiden koestuksista epäonnistui kriittiselle kohdalle sattuneen oksan tai muun vian vuoksi ja ne jouduttiin poistamaan keskiarvo- ja keskihajontalaskuista. Pääsääntöisesti kokeet olivat onnistuneita. Tämän voi todeta siitä, että suurin osa koekappaleista murtui liimasauman kohdalta ja puusta murtumaprosentit olivat suuria. Puusta murtumaprosenttien keskiarvo oli n. 98%.

Taulukossa 1 ja kuviossa 8 on listattu liimakokeessa saatu keskiarvolujuus kullekin liimalle normaalitilanteessa, jossa koekappaleet eivät altistuneet millekään muuttujille. Tuloksista huomaa, että polyuretaaniliimat eivät tässä kokeessa ole pärjännyt muille liimoille. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että liimattaessa koekappaleiden kosteudet olivat liian alhaisia polyuretaaniliimalla liimattaviksi.

TAULUKKO 1. Eri liimojen keskiarvolujuudet vetokokeessa

Liima	N/mm ² (ka)
PUR 1	2,65
PUR 2	3,25
PUR 3	3,00
MUF	4,65
PRF	3,88
EPI	4,01

KUVIO 8. Eri liimojen keskiarvolujuudet vetokokeessa



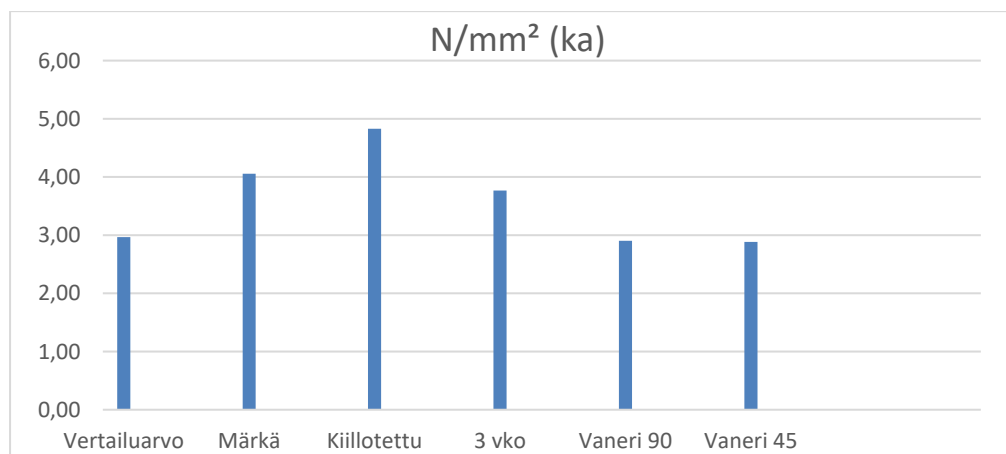
Taulukkoon 2 on listattu polyuretaani-liimojen keskiarvotulokset muuttujakohtaisesti, sarjan ensimmäinen luku viittaa käytettyyn liimaan ja toinen luku viittaa muuttujaan. Tarkat tulokset ovat taulukoituina liima- ja muuttujakohtaisesti liitteessä 1.

TAULUKKO 2. PUR-liimoilla liimattujen koekappaleiden keskiarvolujuudet

Muuttuja	Sarja	N/mm ² (ka)	KA	Ero kuivaan (%)	Ero kuivaan (%)
Vertailuarvo	1.1	2,65	2,97	0,0 %	0,0 %
	2.1	3,25			0,0 %
	3.1	3,00			0,0 %
Märkä	1.2	4,25	4,06	36,7 %	60,0 %
	2.2	3,81			17,4 %
	3.2	4,11			36,9 %
Kiillotettu	1.3	5,23	4,83	62,7 %	97,0 %
	2.3	4,75			46,5 %
	3.3	4,50			49,9 %
3 vko	1.4	3,46	3,77	26,9 %	30,3 %
	2.4	4,05			24,7 %
	3.4	3,79			26,3 %
Vaneri 90	1.5	2,99	2,90	-2,1 %	12,6 %
	2.5	3,07			-5,5 %
	3.5	2,66			-11,5 %
Vaneri 45	1.6	2,13	2,88	-2,8 %	-19,9 %
	2.6	2,58			-20,5 %
	3.6	3,94			31,3 %

Kuviossa 9 on kaikkien polyuretaani-liimojen keskiarvo tulokset eri muuttujilla.

KUVIO 9. PUR-liimojen keskiarvotulokset eri muuttujilla



5.3.1 Kostutus

Taulukossa 3 on tulokset, joista ilmenee kostutuksen vaikutus koekappaleisiin. Tuloksista huomataan, että polyuretaaniliimoilla liimattaessa puun kosteudella on suuri merkitys tarttuvuuteen. Eri valmistajien liimoilla on kuitenkin huomattavasti eroavaisuuksia, kuten taulukosta näkee, liimalla 1 liimattaessa on puun kosteudella suuri merkitys ja liimalla 3 liimattaessa on vaikutus myöskin huomattava. PUR-liimoilla liimattaessa onkin tärkeää huomioida liiman valmistajien ohjeet liimattavan puun kosteuden suhteen.

TAULUKKO 2. Kostutuksen vaikutus PUR-liimoilla

Muuttuja	Sarja	N/mm ² (ka)	Keskiarvo	Ero kuivaan (%)	Ero kuivaan (%)
Vertailuarvo	1.1	2,65	2,97	0,0 %	0,0 %
	2.1	3,25			0,0 %
	3.1	3,00			0,0 %
Kostutettu	1.2	4,25	4,06	36,7 %	60,0 %
	2.2	3,81			17,4 %
	3.2	4,11			36,9 %

5.3.2 Kiillotus

Taulukossa 4 on tulokset kiillotettujen pintojen liimakokeille. Tulosten mukaan kiillotuksella ei ollut heikentävää vaikutusta liiman tarttuvuuteen, vaan puu liimautui vertailukappaleeseen nähden paremmin.

Kiillotuskokeella yritettiin matkia huonolla terätyöstöllä syntyvää puun kiillottuneisuutta, joten tässä kokeessa käytetty kovemmalla puulajilla kiillottaminen ei välttämättä anna samanlaista tulosta. Vertailuarvoon nähden paremmat tulokset voivatkin johtua koekappaleaihioiden kostumisesta varastossa ennen liimausta, mikä näkyy siinä, että tulokset ovat liimavalmistaja kohtaisesti samansuuntaisia kostutettuihin koekappaleisiin verrattuna.

TAULUKKO 3. Kiillotuksen vaikutus PUR-Liimoilla

Muuttuja	Sarja	N/mm ² (ka)	KA	Ero kuivaan (%)	Ero kuivaan (%)
Vertailuarvo	1.1	2,65	2,97	0,0 %	0,0 %
	2.1	3,25			0,0 %
	3.1	3,00			0,0 %
Kiillotettu	1.3	5,23	4,83	62,7 %	97,0 %
	2.3	4,75			46,5 %
	3.3	4,50			49,9 %

5.3.3 Vanhentunut pinta

Taulukossa 5 on liimakokeen tulokset vanhentuneen pinnan tartunnan eroavaisuudesta vertailutuloksiin. Tulokset olivat yllättäviä, sillä vanhentuneen pinnan oletettiin huonontavan liiman tarttuvuutta. Liiman vahvempaan tarttuvuuteen saattoi vaikuttaa kappaleaihioiden vääränlainen varastointi pinnan vanhenemiskokeen kannalta, sillä varastossa aihiot eivät altistuneet uv-valolle, mikä hajottaa fotokemiallisesti puun pintakerroksia ja näin ollen heikentää liiman tarttuvuutta puuhun (Puukemia 2017, 5). Tässäkin kokeessa koekappaleaihiot olivat varastoituna, joten ne ovat olleet vertailuarvoja kosteampia liimattaessa.

TAULUKKO 4. Vanhentuneen pinnan vaikutus PUR-liimoilla

Muuttuja	Sarja	N/mm ² (ka)	KA	Ero kuivaan (%)	Ero kuivaan (%)
Vertailuarvo	1.1	2,65	2,97	0,0 %	0,0 %
	2.1	3,25			0,0 %
	3.1	3,00			0,0 %
Vanhentunut pinta	1.4	3,46	3,77	26,9 %	30,3 %
	2.4	4,05			24,7 %
	3.4	3,79			26,3 %

5.3.4 Vaneri toisena pintana

Taulukossa 6 on tulokset, joissa toisena liimattavista pinnoista oli vanerilevy. Tulokset ovat mielenkiintoisia, sillä poikkisyyhyn vaneria liimattaessa yhden liimavalmistajan liima oli tartunnaltaan parempi vertailukappaleeseen nähden ja muiden valmistajien liimoilla tulos oli heikompi. Kun taas vaneri oli sahattu 45° kulmassa, oli toisen valmistajan liimalla liimatut koekappaleet huomattavasti vahvemmin liimautuneet vertailukappaleeseen nähden.

TAULUKKO 5. Liimasauman lujuus vaneriin liimattaessa PUR-liimalla

Muuttuja	Sarja	N/mm ² (ka)	KA	Ero kuivaan (%)	Ero kuivaan (%)
Vertailuarvo	1.1	2,65	2,97	0,0 %	0,0 %
	2.1	3,25			0,0 %
	3.1	3,00			0,0 %
Vaneri 90	1.5	2,99	2,90	-2,1 %	12,6 %
	2.5	3,07			-5,5 %
	3.5	2,66			-11,5 %
Vaneri 45	1.6	2,13	2,88	-2,8 %	-19,9 %
	2.6	2,58			-20,5 %
	3.6	3,94			31,3 %

5.4 Yhteenveto

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että kullakin koestetuista liimoista on riittävä lujuus, kun ne liimataan oikeanlaisissa olosuhteissa.

Polyuretaaniliimoilla on siis oltava tarkkana liimattavan puun kosteuden kanssa. Liimaristikkoa liimattaessa on huomioitava liiman muutkin ominaisuudet, kuin pelkästään lujuus. Liima-aineella tulee olla täyttäviä ominaisuuksia, sillä ristikkoa koottaessa liitokseen jää pientä väljyyttä.

Polyuretaaniliima turpoaa ja vaahtoo reagoidessaan kosteuden kanssa, mutta turvonneella vaahdolla ei juuri ole liimaavia ominaisuuksia. Muita huomioitavia ominaisuuksia on muun muassa liiman viskositeetti. Liiman viskositeetti tulee säätää liiman levitystavan mukaisesti sopivan juoksevaksi, jotta sen levittäminen joka puolelle liitosta on mahdollista.

6 LIIMARISTIKOIDEN VALMISTUS

Ristikoiden komponenttivalmistus suoritettiin suurelta osin Viisax Oy:n toimesta Vantaalla (Ristikot 1-57,60-67,72,76) ja osa Lahden ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa (Ristikot 58,59,68,69,73,77,78). Risikoissa 70,71,74,75 diagonaalit valmistettiin Viisax Oy:llä ja paarteet Lahden ammattikorkeakoululla. Tällä järjestelyllä varmistettiin riittävät resurssit koepalkkien valmistukselle ja päästiin tavoiteltuihin koestusmääriin. Kaikkien ristikoiden liimaus ja kokoonpano suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa.

Tässä osiossa käsitellään Lahden ammattikorkeakoulussa valmistettuja ristikoida. Viisax Oy:llä valmistusmenetelmät CNC:llä olivat kuitenkin hyvin samankaltaiset konekohtaisia ohjauseroja lukuun ottamatta. Viisax Oy:llä oli myös käytössä 5-akselinen CNC ja Lahden ammattikorkeakoululla 3-akselinen. Molemmissa valmistuspaikoissa käytettiin samoja Tuomo Poutasen teettämiä teriä.

6.1 Työstö

Alussa komponenttien valmistuksessa käytettiin c24 lujuuslajiteltua 48x98 mitallistettua kuusta. Paarteisiin raaka-aine höylättiin käytettyihin dimensioihin. Diagonaalien kohdalla raaka-aine ensin halkaistiin vannesahalla mahdollisuuksien mukaan hukan minimoimiseksi ja lopuksi höylättiin käytettyihin dimensioihin. Myöhemmin siirryimme käyttämään 50x100 sahatavarakuusta. Tällä saatiin suuremmat höyläysvarat ja saavutettiin suurempi ja parempi höyläyslaatu komponenttien valmistusta varten. Taulukossa 7 on listattu käytetyt paarre- ja diagonaalidimensiot.

TAULUKKO 6. Liimaristikkopalkkien osissa käytetyt dimensiot

Käytetyt paarredimensiot	Käytetyt diagonaalidimensiot
38x73	15x73
38x98	16x73
40x90	18x73
44x94	19x73
46x98	20x70
	22x70
	23x70
	23x73
	24x70
	24x73
	25x70
	28x70
	30x70
	32x70
	38x38
	40x70
	46x70
	48x48

Höylätty raaka-aine katkaistiin vaadittuihin mallikohtaisiin ahiopituuksiin. Liitostyöt suoritettiin pääsääntöisesti 3-akselisella CNC koneella. Joidenkin mallien diagonaalit pystyttiin myös valmistamaan osittain alajyrsimellä.

6.1.1 CNC

Ristikoiden komponenttien valmistuksessa käytettiin Lahden ammatti-
korkeakoulun Homag CNC -koneita, joka toimii kolmella akselilla. Kuvassa
3 on Lahden ammattikorkeakoulun Homag CNC. CNC:llä työstettiin
paarteiden sormiliitokset, diagonaalien profiilit sekä diagonaalien
sormiliitokset.

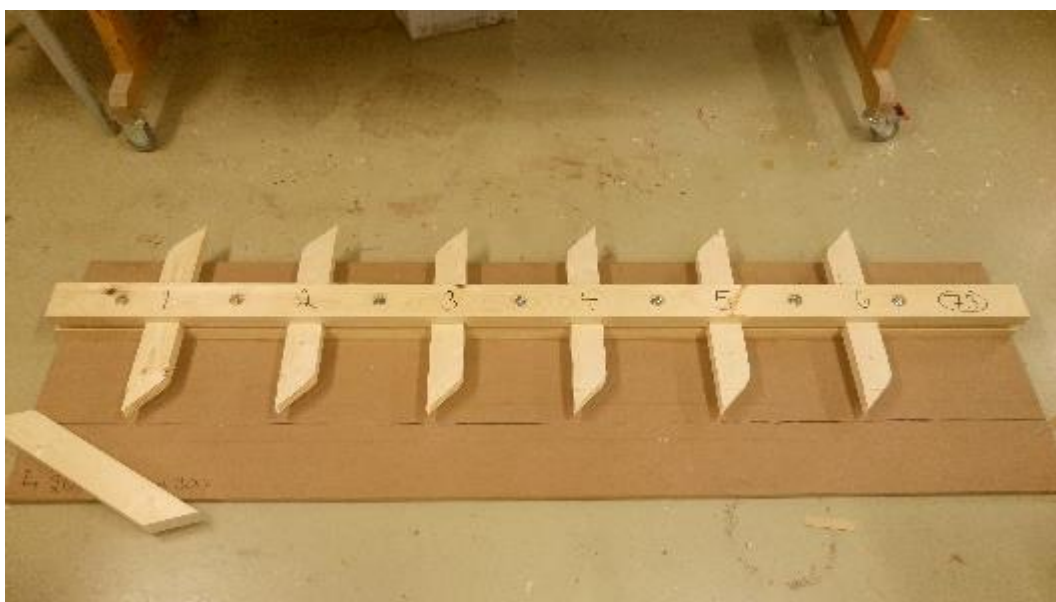


KUVA 3. Osien valmistamiseen käytetty Homag CNC-kone

CNC:llä työstämistä varten jouduttiin valmistamaan jigat paarteille ja diagonaaleille kappaleiden kiinnittämistä varten ja nopeuttamaan kappaleen vaihtoa koneeseen. Jigat valmistettiin levy- ja puutavarasta kuvien 4 ja 5 mukaisesti paarteita ja diagonaaleja varten.



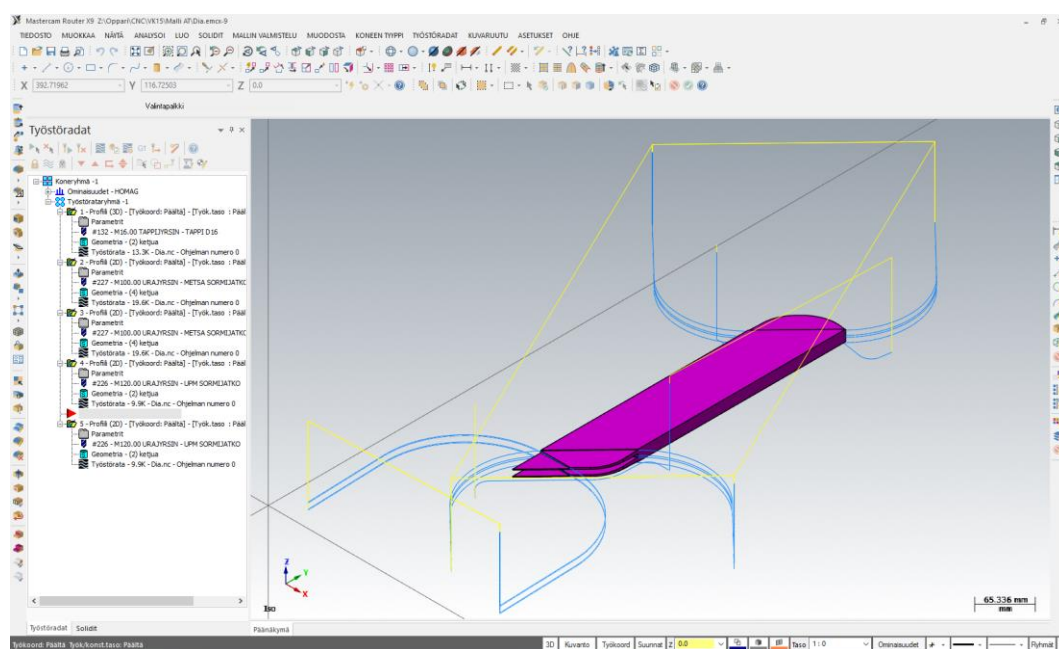
KUVA 4. Paarteen työstöön käytetty jigi, johon parre on kiinnitettynä



KUVA 5. Diagonaalien työstöön käytetty jigi ja valmiita diagonaaleja

Jigeillä mahdollistettiin mekaaninen kiinnitys aihioille. Diagonaalijigillä pystyttiin myös työstämään yhdellä työstöllä yhden palkin kaikki diagonaalit kerralla. Diagonaalijigissä oli vaihdettava yläpalkki, mikä mahdollisti eri dimensioiden työstämisen jigillä.

CNC:llä työstämistä varten täytyi tehdä NC-koodi, jonka mukaan kone työsti kappaleet. NC-koodin tekemistä varten käytettiin Mastercam-ohjelmistoa. Kuviossa 10 on diagonaalin työstöradat Mastercamissa.



KUVIO 10. Diagonaali ja sen työstöradat Mastercam ohjelmassa

Jokaista palkkimallia valmistettiin aina 1 - 2 kappaleen sarja koestuksia varten. Tämä vuoksi jouduttiin tekemään useita NC-kooditiedostoja, koska jokaiselle mallille täytyi tehdä oma koodinsa. NC-koodien tekeminen oli Mastercamilla työlästä ja hidasta, mikä rajoitti valmistettavien palkkien lukumäärää muutamaan palkkimalliin työviikkoa kohden. Kun NC-koodi oli luotu Mastercamilla, se tuotiin CNC:n ohjausyksikölle.

CNC:llä suoritettiin koeajo ennen varsinaisten kappaleiden kiinnittämistä varten, mahdollisten virheiden huomaamiseksi. Näin minimoitiin vahinkoja ja kappalehävikkiä. Testauksen jälkeen kappaleet kiinnitettiin jigiin työstämistä varten. Paarteiden työstöissä käytettiin Poutasen hankkimia

kyseiseen malliin sopivia sormiteriä. Diagonaalien kohdalla työstimme ensin koulun tappiterällä profiilin ja tämän jälkeen Poutasen somiterällä sormiliitoksen.

6.1.2 Alajyrsin

Osassa palkkimalleja pystyttiin hyödyntämään alajyrsintä diagonaalien sormityöstöjen kohdalla (kuva 6). Näissäkin tapauksissa profiili ajettiin diagonaaleihin CNC:llä, mutta sormet alajyrsimellä. Tämä kevensi huomattavasti CNC:n ohjelmoinnin tuomaa rasitetta. Alajyrsimellä ajettiin mallin mukaisesti sormet yhdestä kolmeen työstöllä, käyttäen alajyrsimen kelkkaa.



KUVA 6. Sormien työstö alajyrsimellä

6.2 Liimaus

Palkkien liimaus tapahtui koulun puuntyöstösalin tiloissa. Liimauksessa käytettiin kiskopuristimia sekä diagonaalien paikalleen asettamista varten tehtyä kuvan 7 mukaista vääntötyökalua.



KUVA 7. Vääntötyökalu

Kaikissa malleissa ei voitu hyödyntää vääntötyökalua. Vääntötyökalu toi hyötyä ainoastaan malleissa, jotka voitiin pyöräyttää paikalleen.

Pyöräyttämien onnistui puolestaan vain malleissa, joissa oli pyöreä profiili ja joissa diagonaalit liitettiin niiden omiin liitos jysintöihinsä.

6.2.1 Liiman valmistus

Käytetyt polyuretaaniliimat (PUR) olivat yksi-komponenttisiä liimoja, joten niiden käyttö ei liimauksen valmistelun suhteen aiheuttanut ongelmia.

Käytössä oli myös Melamiiniureaformaldehydi (MUF)-, resorsinoli (PRF)- ja emulsiopolymeeri-isosyanaatti (EPI) -liimoja, jotka olivat kaksi-

komponenttisia. Näiden liimojen kanssa liimattaessa oli toimittava erityisen ripeästi liima-aineiden sekoittamisen jälkeen, sillä avoin aika näillä liimoilla oli vain 30 minuuttia. Kaksi-komponenttisten liimojen liima-aineiden ja kovetteiden suhteet ovat mainittuna taulukossa 8.

TAULUKKO 7. Käytettyjen liimojen ja niiden kovetteiden sekoitussuhteet

Liima	Liima-aine (g)	Kovete (g)
MUF	100	50
PRF	100	20
EPI	100	15

6.2.2 Valmistelut

Käytetyillä liimoilla oli melko lyhyt avoin aika, eli aika minkä sisällä liimoitettu kappale tulee asettaa liimattavaan pintaan. Tästä johtuen tuli liimausvalmistelujen olla hyvällä mallilla liimausta aloitettaessa. Käytetyt liimat olivat valmistajien mukaan ihoa ärsyttäviä, joten liimoja sekoitettaessa ja liimauksessa tuli käyttää kumihanskoja.

6.2.3 Liimaus

Liimausta varten asetettiin kiskopuristimien päälle vanerilevy, jotta liimattua palkkia kasaan puristettaessa se pysyisi oikeassa mitassa korkeussuunnassa. Tällä varmistettiin, että palkki ei puristu liikaa ja liitokset menevät oikeille paikoilleen.

Liima levitettiin joissakin malleissa pelkästään paarteissa oleviin uriin, joista se pursuaa liitoksen jokaiseen kohtaan puristettaessa. Joissakin liitosmalleissa sormiliitokset olivat monimutkikkaammat, joten niihin liimaa tuli levittää myös diagonaalien sormiin.

Liiman levityksen jälkeen paarteet laitettiin kiskopuristimille ja diagonaalit asetettiin oikeille paikoilleen. Liitosten tiukkuuden takia tässä tarvittiin vääntötyökalua, jotta diagonaalit asettuivat liitoksen pohjaan asti.

Diagonaalien ollessa oikeilla paikoillaan puristettiin palkki vielä kiskopuristimilla kiinni. Puristuksen jälkeen liimaristikkopalkki nostettiin kuivumaan.

Osa liitosmalleista pysyi muotonsa vuoksi tiukasti paikoillaan, vaikka liima ei ollutkaan vielä täysin kovettunut. Osaan liitosmalleista tarvitsi laittaa käsipuristimet kuivumisen ajaksi, jotta päätydiagonaalit eivät valahtaisi pois liitoksistaan. Puristuksen jälkeen palkit olivat kuivumassa ennen koestusta 1 – 4 vuorokautta.

7 KOESTUSMENETELMÄT

Liimaristikkopalkkien koestuksessa tarkoituksena oli selvittää erilaisten palkkimallien taivutuslujuudet. Lujuudet testattiin koulun laboratorion Shimadzu AG-IC -aineenkoetuskoneella ja tulokset laskettiin TrapeziumX-ohjelmalla. Testimenetelmänä oli kolmipistetaivutus, jonka jänneväli määräytyi palkin pituuden mukaan.

7.1 Koestuksen valmistelut

Kolmipistetaivutuksessa palkkia taivutettiin sen murtumiseen asti, joten tarvittavat tiedot palkkikohtaisesti oli otettava ennen varsinaista koestusta. Kustakin palkista mitattiin ennen koestusta palkkien kokonaispituudet sekä jännevälit ja punnittiin niiden massat. Jänneväliksi mitattiin palkkien reunimmaisten puristusdiagonaalien keskikohtien etäisyys.

Joistakin palkkimalleista toinen koestettava palkki kasteltiin nopeasti kuvan 8 mukaisessa kastelualtaassa vuorokausi ennen koestusta, jotta saatiin selville, onko kastelulla vaikutusta palkin lujuuteen. Lisäksi palkkien kosteudet mitattiin GANN-kosteusmittarilla. Laboratorion koestusolosuhteista huomioitiin ilmankosteus sekä huoneen lämpötila.



KUVA 8. Palkki kasteltavana kastelualtaassa

Koestuksessa oli huomioitava palkin mahdollinen nyrjähtäminen kokeen aikana. Tämän takia valmistettiin sahatavarasta erilliset kuvassa 9 näkyvät nyrjähdystuet palkin molempiin päihin. Tuen tuli olla mitoitettu siten, että palkki mahtui vapaasti taipumaan koestuksessa, mutta ei silti pääsisi nyrjähtämään. Nyrjähdystuen mitoituksessa oli huomioitava myös palkkien paarteiden dimensioiden vaihtelut, joten tarvittaessa tukeen ruuvattiin lisäpalat erikokoisille paarteille.



KUVA 9. Nyrjähdystuki

Palkin alapaarteen ja tukipisteiden väliin laitettiin laakerit, jotka koostuivat kahdesta metallilevystä, joiden välissä oli kaksi metallitangon palaa kuvan 10 mukaisesti. Laakereiden ansiosta palkki pääsi vapaasti liikkumaan tukipisteiden kohdalta koestuksen aikana.



KUVA 10. Laakeroitu tukipiste

Joitain palkkimalleja tuli koestaa siten, että tukipisteet kohdistuivat kuvan 11 mukaisesti liimaristikkopalkin yläpaarteisiin. Tätä varten valmistettiin puusta erilliset yläpaarretuentaan soveltuvat tukipalat, jotka sai ujutettua aineenkoestuskoneen koestuspalkkiin. Yläpaarretukeen lisättiin koestuksen ajaksi vaneriset lisäpalat, joilla tuki saatiin tarkasti kohdistettua haluttuun kohtaan paarteessa.



KUVA 11. Yläpaarretuettu palkki koestuksessa

7.2 Koestus

Koestuksessa testattiin kolmipistetaivutuksella liimaristikkopalkin taivutuslujuutta. Palkkia taivutettiin aina sen murtumiseen asti, ja tuloksista otettiin ylös murtokuorma (N) ja palkin taipuma (mm). Koestuksen jälkeen tutkittiin palkin murtokohtaa, murtomuotoa sekä murren mahdollista aiheuttajaa. Kustakin palkkimallista tehtiin mallikohtainen raportti, josta selviää koestuskoneella mitatut tulokset, sekä palkkien mallikohtaiset tiedot.

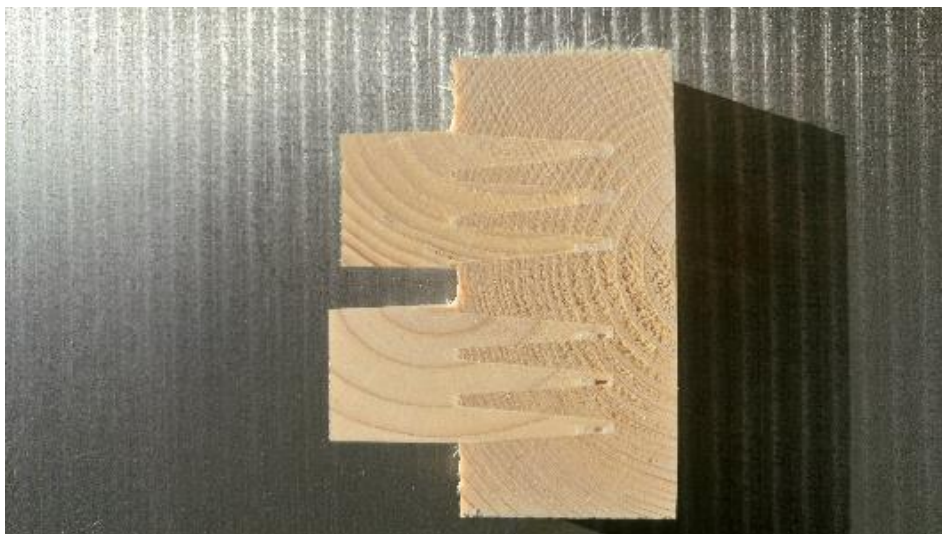
Sopivan liiman tehokkaan selvittämisen kannalta oli suuri osa palkeista liimattu kahdella eri liimalla siten, että palkin molemmissa päissä oli omat liimansa. Tämä mahdollisti kahden eri liiman tutkimisen yhdessä palkissa. Nämä palkit koestettiin kahteen kertaan, joista toisella koestuksella vahvistettiin palkin ensimmäisellä koestuksella hajonnut pää vanerilevyillä kuvan 12 mukaisesti.

Palkkien suurten murtolujuuksien takia vanerien oli oltava vähintään 12mm paksua, ja ne tuli ruuvata riittävän tiheästi (k 100 mm) palkin paarteisiin. Vanerilevyillä vahvistaminen ei kuitenkaan ollut mahdollista suurempia lujuuksia kestäville palkeille, sillä kun levyt oli ruuvattu liian tiheällä jaolla paarteeseen, alkoi paarre halkeamaan. Mikäli levyt taas oli kiinnitetty vähemmällä määrällä ruuveja, alkoivat itse ruuvit taipua koestuksessa.



KUVA 12. Kertaalleen koestettu palkki vahvistettuna uuteen koestukseen

Taivutuskokeen jälkeen jokaisesta palkista tutkittiin sen murtumakohtia. Palkeista halkaistiin murtumakohdista erilaisia koepaloja, joista selvisi, kuinka liitos oli hajonnut ja oliko liima tarttunut liitoksessa kunnolla. Kuvassa 13 leikkaus diagonaalien liitoksesta. Näiden koepalojen perusteella huomattiin liiman sopivuus liitosmalliin ja se, oliko liimaus muuten onnistunut.



KUVA 13. Leikkauskuva diagonaalien liitoksista

8 TULOKSET

Tulosten analysointi yksittäisen muuttujan kohdalla on haastavaa, sillä koepalkeissa oli yleisesti useampia eri muuttujia. Tämä näkyy myös suuressa mallimäärässä. Koekappaleita, jotka sopivat yhden yksittäisen muuttujan vaikutusten analysointiin, on liian pieni otanta luotettavien tulosten saamiseksi. Tästä syystä tulosten analysointi osaltamme on hyvin suuripiirteistä ja keskittyy lähinnä korrelaatioihin, joissa voi olla huomioimattomien muuttujien vaikutuksia.

8.1 Liitoksen muoto

Liitosmuodon vertailussa joudutaan sisällyttämään monia muuttujia. Esimerkiksi liitoksen profiileissa pyöreä on ainoa profiili, mikä menee omaan liitostyöstöön. Teräväkärkisissä profiileissa on aina mallin mukainen liitospinta viereisiin diagonaaleihin. Siitä seuraa vaihtelua liitosjyrsinnän pituudelle ja diagonaalien kiinnittymispisteille paarteissa. Lisäksi malleissa on käytetty eri komponenttidimensioita, liimoja, työstömenetelmiä tai teriä. Näin ollen liitoksen profiilin vaikutusta ei pystytä tulosten pohjalta analysoimaan yksiselitteisesti. Tämän vuoksi vertaamme kaikkia liitosmalleja toisiinsa erottaen vain ylä- ja alapaarre tuetut toisistaan.

8.2 Tupladiagonaalit

Yksi merkittävistä tekijöistä palkin lujuuden kannalta oli diagonaalien lukumäärä kriittisen vetodiagonaalin kohdalla. Oheisessa taulukossa 9 kerätyt malliparit, joissa on täysin samanlainen liitostyöstö ja käytetyt dimensiot. Lujuusarvo on kaikkien kyseisen mallin koestettujen palkkien keskiarvotulos. Keskiarvollisesti palkit, joissa kriittisessä kohdassa diagonaaleja oli kaksi, kestivät lähes kaksinkertaisesti.

TAULUKKO 8. Tupladiagonaalin vaikutus palkin lujuuteen

Yksittäinen diagonaali	Lujuus [N/mm ²]	Tupla diagonaali	Lujuus [N/mm ²]	Ero%
A	10561	C	29959	184 %
N	9724	O	18282	88 %
R	16018	T	30438	90 %
S	17998	U	31314	74 %
X	15631	Y	22566	44 %
			KA	96 %

Tupladiagonaalin vaikutus lujuuteen vaihtelee hyvin paljon liitostyyppin mukana, näin ollen keskiarvotulos on vain suuntaa antava. Tässä ei myöskään otettu huomioon tupladiagonaalien välisen etäisyyden vaikutusta lujuuteen eikä liimavalinnan vaikutusta tulokseen. Mallien otannassa on myös vaihteleva määrä koestuksia.

8.3 Sormien määrä

Diagonaalin sormien määrä vaikuttaa suoraan diagonaalin liimapinta-alaan, joten sormien määrää lisäämällä kasvaa samalla palkin lujuus. Taulukossa 10 on kahden eri malliparin lujuuserot taulukoituna. Palkeilla ei ollut keskenään muuta eroa, kuin sormien lukumäärä. Tuloksista voi päätellä, kuinka sormien lisääminen kahdesta kolmeen sormeen lisää palkin lujuutta noin 25%:lla.

TAULUKKO 9. Sormien määrän vaikutus lujuuteen

Malli (2 sormea)	Lujuus [N/mm ²]	Malli (3 sormea)	Lujuus [N/mm ²]	Ero%
A	10561	B	13104	24 %
D	15821	E	19877	26 %
			KA	25 %

8.4 Yläpaarteen avonainen ja täytetty tuenta

Mallin AQ yläpaarretuetussa koestuksessa selvitimme samalla avoimen liitoksen tuennan verrattuna täytetyn liitoksen tuentaan. Koestuksessa oli kaksi koekappaletta täytetyllä päätyliitoksella ja kaksi avoimella. Tulokset viittaavat selkeästi siihen, että avointa liitosta ei tulisi jättää palkin tuennan kohdalle. Tämä koskee vain yläpaarretuentaa. Taulukossa 11 AQ-1 ja AQ-2 ovat täytetyillä päätyliitoksilla ja AQ-3 ja AQ-4 liitokset ovat avonaisia.

TAULUKKO 10. Avoimen liitoksen tulppaamisen vaikutus lujuuteen

Tulpattu	Lujuus [N/mm ²]	Avoin	Lujuus [N/mm ²]	Ero %
AQ-1 ja AQ-2	41654	AQ-3 ja AQ-4	33455	20 %

8.5 Kastelu

Palkin kastelemisella upottamalla kastelualtaaseen ennen koestusta ei ollut minkäänlaista vaikutusta palkin lujuuteen. Kastelu ei myöskään vaikuttanut mitenkään palkin liimasaumoihin. Kastelun vaikuttamattomuus huomattiin jo opinnäytetyön varhaisessa vaiheessa, joten palkkien kastelua ei jatkettu kovin pitkään.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kokeiden tarkoituksena oli löytää kokonaisuudessaan paras liitosmalli ristikolle, joka sisältäisi riittävät lujuusominaisuudet teollista tuotantoa varten. Poutanen suunnitteli valmistettavat ristikot edeltävien koetulosten perusteella. Tästä syystä yksittäisten muuttujien analysointi oli vaikeaa ja liitoksia pystyttiin vertailemaan lähinnä kokonaisuudessaan toisiinsa nähden.

Kokeet osoittivat erityisesti vetodiagonaalin liitoksen lujuuden merkityksen. Onnistuneet koestukset murtuivat aina vetodiagonaalin liitoksesta. Puulla syynsuuntaisen lujuuden ollessa paras lujuusominaisuus, voidaan olettaa liitoksen murtuvan ensisijaisesti paarteeseen kohdistuvan poikkisyyden suuntaisen vetokuorman tai liimasauman pettämisen johdosta. Ideaalisin murtumatilanne olisi, kun vetodiagonaalin sormet murtuisivat. Tällöin hyödynnettäisiin puun lujuusominaisuudet parhaiten.

Malleissa G, H, AK, AL, AM, AN, AO, AP, AQ ja AR käytetty liitostyyppi osoittautui parhaaksi. Kaikissa edellä mainituissa malleissa liitosmalli on sama, mutta sormien lukumäärä, sormen pituus, diagonaalien määrä ja puristusdiagonaalien liitokset voivat vaihdella. Kokeiden mukaan vaikuttaisi siltä, että diagonaalien sitomisella toisiinsa on suuri merkitys liitoksen lujuuden kannalta. Näissä malleissa diagonaalien sidonta toisiinsa tapahtuu vain kärjen osalta. Näin saadaan mahdollisimman suuri pinta-ala diagonaalin ja paarteen välille. Lisäksi liitoksen terävällä kärjellä mahdollistetaan mahdollisimman paljon puuta kriittiseen pisteeseen vetodiagonaalille.

Kyseisellä liitosmallilla saavutettiin vaaditut lujuus ominaisuudet rakennustuotteeksi. Malli on haastava valmistaa teollisesti, mutta mahdollinen riittävällä konekapasiteetillä. Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet pysyttiin tällä liitoksella saavuttamaan.

LÄHTEET

Forsström, P. 1995. Puun tekniset ominaisuudet ja lujuusluokitus.

Teoksessa Laitinen, E. (toim.) Teollinen puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto, 31 - 32.

Havonen, R. 1995. NR-kattoristikoita valmistava teollisuus. Teoksessa Laitinen, E. (toim.) Teollinen puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto, 151.

Kevarinmäki, A. 1996. B12, Ristikot. Teoksessa Kurkela, J. Lahtinen, R. Muilu, J. & Mäki-Ketälä, L. (toim.) STEP 1 Puurakenteet. Helsinki: Rakennustieto Oy, 1 - 5.

Koponen, H. 1990. Puutuotteiden liimaus. Espoo: Otatieto.

Leivo, M. 1986. Kuormitusajan ja käyttöolojen vaikutukset naulalevyrakenteen taipumaan. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Open Joist TRIFORCE 2017. Characteristics. [viitattu 25.3.2017].

Saatavissa: <http://www.openjoisttriforce.com/open-joist-triforce/characteristics/>

Peri Suomi Ltd Oy 2017. Puupalkit. [viitattu 25.3.2017]. Saatavissa:

<https://www.perisuomi.fi/tuotteet/muotit/muottitarvikkeet/puupalkit.html>

Poutanen, T. 2017. Liimaristikko: Kulmasormiliitos. [viitattu 29.3.2017].

Saatavissa: <http://www.liimaristikko.fi/kuvat/ATT00049.pdf>

Puuinfo 2017. Paloteknisiä ominaisuuksia. [viitattu 13.1.2017]. Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/paloteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

Puunjalostustekniikan osasto, Teknillinen korkeakoulu 2007. Puuaineksen tuhoutuminen, lahoaminen ja puun väri. [viitattu 8.2.2017]. Saatavissa:

<http://puukemia.tkk.fi/fi/opinnot/kurssit/19-1000/luennot/L14.pdf>

Puuproffa 2017. Sormijatkoliitoksen suunnittelu. [viitattu 13.1.2017].

Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/puusepanliitokset/sormijatkoliitoksen-suunnittelu

RT 85-10495, 1993. Puuristikot ja -kehät. RT-ohjekortti. Rakennustieto.

[viitattu 15.3.2017]. Saatavissa: <http://hietakulma.fi/wp-content/uploads/2015/12/puuristikot.pdf>

SFS-EN 205 2016. Adhesives. Wood adhesives for non-structural applications. Determination of tensile shear strength of lap joints. Helsinki: Suomen standardisoimisliito.

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sorsa, B. 1966. Liimat. Teoksessa Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 31-66, Puun käyttö kantavissa rakenteissa. Helsinki: Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, 1 – 4.

